

# 횡방향 맞대기 용접부를 가진 고장력볼트 마찰이음부의 역학적 특성에 관한 연구

## A Study on the Mechanical Characteristics of High Tension Bolted Joints with Butt-Welded Joints

장 동 일<sup>1)</sup> · 김 학 재<sup>2)</sup>  
*Chang Dong Il Kim Hak Jae*

**요 약 :** 횡방향 맞대기 용접부를 갖는 고장력볼트 시험체를 대상으로 정적 및 피로 실험을 실시하여 맞대기용접부가 마찰이음부의 정적 및 피로거동에 미치는 영향을 규명하였다. 그 결과 마찰면 내부 및 외부에 맞대기 용접부가 존재하면 이음부의 피로강도는 감소하는 경향이 있으나 시방서에서 규정하는 피로한계(B등급) 이상을 만족하는 것을 알 수 있었다. 특히 피로강도는 마찰면 외부에 맞대기 용접부가 존재하는 경우가 더 낮은 경향을 나타내었다.

**ABSTRACT :** In this study, we research the influence of butt-welded joints in high tension bolted joints on the static and fatigue strength. As a results, if it's located inside or outside of the friction surface, the fatigue strength decrease, and the decrease of fatigue strength is greater in cases that the butt-welded joints exist outside of the friction surface. But the influence of butt-welded joint on the fatigue strength satisfies category B of the Specifications.

**핵 심 용 어 :** 횡방향 맞대기 용접부, 고장력볼트, 피로강도, 마찰면, 미끄러짐계수  
**KEYWORDS :** Butt-Welded Joints, High-Tension Bolted Joints, Fatigue Strength, Friction Surface, Sliding Coefficient

### 1. 서 론

강구조물의 이음방법으로는 크게 리벳이음, 용

접이음, 볼트이음으로 분류할 수 있으며, 고장력 볼트 마찰이음이 현재 강구조물의 현장이음방법으로 가장 많이 사용되고 있는데 이 마찰이음방

1) 정회원, 한양대학교 지구환경건설공학부 교수  
2) 정회원, 서울특별시 행정 제 2부시장

본 논문에 대한 토의를 1998년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

법은 분리되어 있는 두 부재에 이음판을 대고 고장력볼트의 항복강도에 가까운 높은 체결력으로 고장력볼트를 체결하여 이음재 사이에 높은 압축력을 도입하고 마찰력에 의하여 외력을 전달하게 한다. 따라서, 고장력볼트 이음은 리벳 및 일반볼트를 사용한 이음에서 발생하는 국부적인 전단력의 집중현상이 없으므로 응력전달이 원활하여 높은 피로강도를 나타낸다<sup>(1)</sup>. 고장력볼트 마찰이음은 고강도의 볼트를 사용하여 높은 축력을 도입하여 체결하고 체결력을 장기간 유지하여야 하므로 볼트체결시 정확한 축력도입과 체결후의 축력관리가 중요한 요소가 된다. 일반적으로 축력관리는 토크계수를 사용하는데 고장력볼트에서는 토크계수가 거의 균일하여 축력관리가 용이하나 볼트나사부의 이물질 개재, 나사부의 손상 등에 따라 문제가 발생할 수도 있다. 그리고 하나의 이음부에 많은 고장력볼트를 배치시키는 경우에는 체결방법, 체결순서 등에 따라서는 기도입된 축력이 크게 변동할 수도 있으며<sup>(2, 3, 4)</sup>, 체결후에도 시간이 경과함에 따라 도입축력이 감소하는 릴렉세

크관리법의 타당성을 검증하고자 하였으며, 시간경과에 따른 도입축력의 감소효과를 규명하고자 축력도입직후의 축력감소량과 반복하중 작용시의 장기감소량을 각각 측정하였다. 또한 정적 및 피로실험으로부터 미끄러짐하중을 측정하여 마찰면의 조도에 따른 영향을 검토하였으며, 마찰면의 분포면적이 피로강도 및 미끄러짐 내력에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 고장력볼트 연결부 부위에 위치한 맞대기 용접부의 특성을 고찰하기 위해서 마찰면 내부와 외부에 각각 맞대기 용접이음이 존재하는 경우에 대한 역학적 특성을 조사하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 공시재료

본 연구에서 사용한 시험편의 모재와 이음판은 용접구조용 강재인 SWS 490B를 사용하였으며, 강재의 화학성분 및 기계적 성질은 표 2.1과 같다.

표 2.1 화학성분 및 기계적 성질

강종	화 학 성 분 (%)					기 계 적 성 질			
	C	Si	Mn	P	S	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	탄성계수(MPa)	신장률(%)
SWS 490B	0.16	0.38	1.23	0.012	0.009	368.3	529.2	205274.5	23.0

이션이 문제가 된다.

본 연구에서는 횡방향 맞대기 용접부를 갖는 고장력볼트 시험체를 대상으로 정적 및 피로실험을 실시하여 맞대기 용접부가 마찰이음부의 역학적 특성에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 그 방법으로써 현재 현장에서 주로 사용되고 있는 토

또한 고장력볼트는 강교량의 현장조립시 주로 사용되는 M22(F10T)를 사용하였다. 고장력볼트의 기계적 성질은 표 2.2와 같으며, 고장력볼트와 너트, 와셔의 화학성분 및 경도는 표 2.3과 같다.

표 2.2 고장력볼트의 기계적 성질

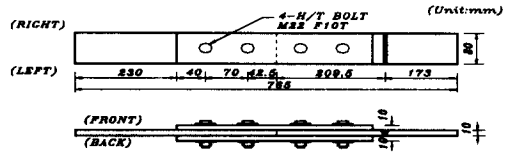
볼트종류	기 계 적 성 질			
	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	단면수축률(%)	신 장 륜(%)
M22 (F10T)	1027	1077	65.7	20.5

표 2.3 고장력볼트세트의 화학성분 및 경도

종 류	화 학 성 분 (%)						경 도(HRC)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
볼 트	0.20	0.22	0.79	0.014	0.008	0.8	33.5
너 트	0.43	0.26	0.70	0.015	0.014	-	25.5
와 셔	0.44	0.19	0.72	0.016	0.004	-	42.0

2.2 시험체 상세

고장력볼트 시험체는 폭 80mm, 두께 10mm, 길이 380mm의 모재 1쌍과 두께 10mm의 이음판 1쌍 및 볼트직경 22mm인 고장력볼트 4개로 구성되어 있으며, 볼트구멍의 직경은 2mm의 여유를 두어 24mm로 하였다. 시험체 표면은 샷라스트후 무기징크처리를 하여 마찰면을 실제의 표면조도와 유사하게 하였다. 또한 횡방향 맞대기 용접부를 갖는 고장력볼트 이음의 특성을 조사하기 위해서 1쌍의 모재중 한쪽을 마찰면 내부 및 외부에 각각 V자형으로 개선하여 맞대기 용접이음을 한 경우와 용접이음이 없는 경우로 구분하여 3종류의 시험체를 제작하였다. 시험체의 형상 및 치수는 그림 2.1과 같으며, 시험체 표 2.4와 같다.

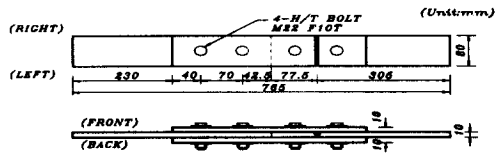


(c) 용접이음이 없는 경우

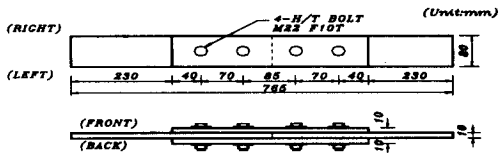
그림 2.1 고장력볼트 마찰이음부의 형상 및 치수

표 2.4 시험체 구분

구 분	시험체 ID.	용 도			
		토크 시험	릴렉세이션 시험	정적 시험	피로 시험
마찰면 외부에 맞대기 용접이음이 있는 경우	SP-SA1~S A4			○	
	SP-A1	○	○		○
	SP-A2	○	○		○
	SP-A3				○
마찰면 내부에 맞대기 용접이음이 있는 경우	SP-SB1~S B4			○	
	SP-B1	○	○		○
	SP-B2	○	○		○
	SP-B3				○
맞대기 용접이음이 없는 경우	SP-SC1~S C4			○	
	SP-C1	○	○		○
	SP-C2	○	○		○
	SP-C3				○
	SP-C4				○



(a) 용접이음이 마찰면 내부에 존재하는 경우



(b) 용접이음이 마찰면 외부에 존재하는 경우

2.3 실험방법

본 연구에서는 맞대기용접으로 인한 마찰면조도와 볼트축력에 따른 고장력볼트 이음부의 성질

을 평가하였으며, 미끄러짐하중, 미끄러짐계수, 마찰면적분포 등에 미치는 영향을 평가하였다. 고장력볼트에 설계축력의 도입은 볼트축부에 변형률게이지를 부착하고 토크렌치를 이용하여 토크를 도입하여 도입축력을 측정하였으며, 이로부터 본 실험에 사용된 고장력볼트의 토크계수를 도출하여 토크관리를 실시하였다.

또한 시간경과에 따른 볼트체결력의 감소를 평가하기 위해 볼트축에 부착된 변형률게이지로부터 변형률을 측정하여 축력감소를 조사하였고 피로실험중 반복횟수별 변형률을 측정하여 축력의 장기 감소효과를 조사하였다. 한편 용접이 미끄러짐하중에 미치는 영향을 평가하기 위해서 그림 2.2와 같이 변위계를 부착하고 하중을 증가시키면서 모재와 이음판의 상대변위를 측정하여 미끄러짐하중을 구하였다.

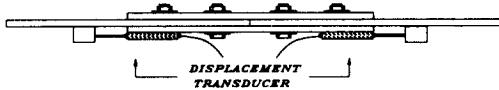


그림 2.2 변위계이지의 부착위치

피로실험은 ±30tonf 용량의 전기유압식 피로시험기를 사용하여 일정진폭 반복하중으로 실시하였다. 파형은 정현파, 하중재하속도는 5Hz, 응력비는 0.1로 일정하게 하였다. 피로시험을 실시한 시험체는 설계축력으로 체결한 후 초기 축력감소가 완료되었을 것으로 판단되는 약 2일 정도 경과한 후에 실시하였으며, 하중의 반복작용에 따른 축력감소효과와 미끄러짐의 발생시점을 조사하였

다. 또한 용접부를 갖는 고장력볼트 시험체의 피로특성을 조사하기 위해서 용접부위치를 변수로 하여 각 시험체에 부착된 변형률게이지로부터 응력분포 특성을 조사한 후 피로실험을 실시하였다. 피로시험후 파단된 시험체에 대해 마찰이음의 특성을 조사하기 위해 마찰면의 형상 및 분포면적, 균열발생점, 파단형상을 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 토크계수 측정

본 연구에서 사용된 고장력볼트의 토크계수를 구하기 위해서 피로시험용 시험체의 체결단계에서 그림 3.1과 같이 시험체별 각 4개의 고장력볼트에 대해 실시하였다.

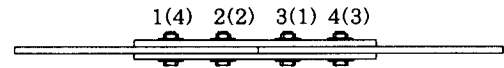


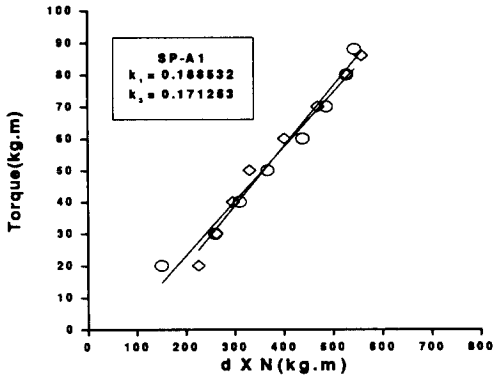
그림 3.1 고장력볼트의 체결순서 및 볼트명(괄호안은 체결순서)

볼트체결순서는 내측볼트에서 외측볼트의 순서대로 체결하되 설계축력의 약 60%로 1차체결 후 2차적으로 설계축력까지 체결하였다. 측정된 변형률로부터 볼트의 탄성계수를  $2.2 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ 으로 적용하여<sup>(5)</sup> 축력을 도출하여 토크계수를 정리하였다. 고장력볼트의 도입축력으로부터 토크렌치로 부여한 토크와의 관계를 도출하고 선형회귀

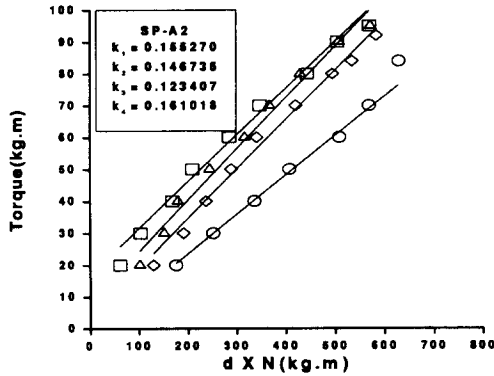
표 3.1 토크계수 측정결과

시험체	1		2		3		4		비 고
	토크계수	토크(kg·m)	토크계수	토크(kg·m)	토크계수	토크(kg·m)	토크계수	토크(kg·m)	
SP-A1	0.1885	93.32	-	-	0.1713	84.77	-	-	
SP-A2	0.1553	76.86	0.1467	72.63	0.1234	61.08	0.1610	79.70	
SP-B1	0.1733	85.78	0.1597	79.06	-	-	0.1456	72.05	
SP-C1	0.1595	78.95	0.1384	68.53	0.1298	64.24	0.1564	77.41	
SP-C3	0.1909	94.52	0.1313	64.98	0.1656	81.97	0.1799	89.05	
평 균	0.1574	77.91	표준편차		0.0199		95% 신뢰구간		0.1479~0.1668

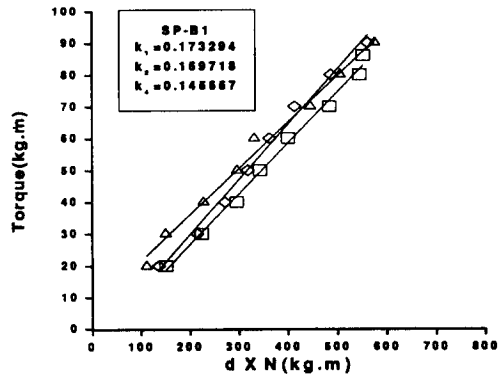
분석방법을 이용하여 토크계수를 산출하면 표 3.1 및 그림 3.2와 같다.



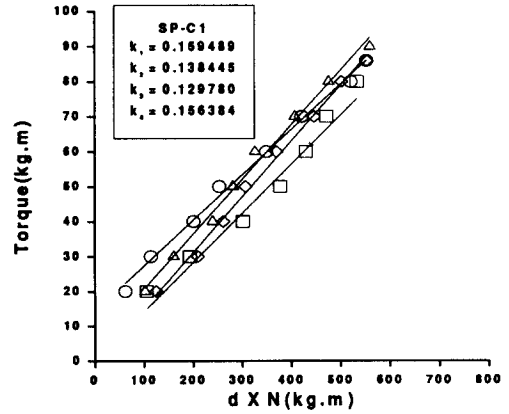
(a) SP-A1



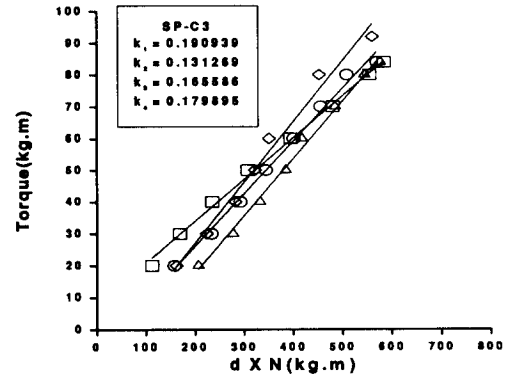
(b) SP-A2



(c) SP-B1



(d) SP-C1



(e) SP-C3

그림 32 토크계수 측정결과

표 3.1과 같이 토크계수는 0.1234~0.1909에서 분포하고 있으며, 평균값은 0.1574, 표준편차는 0.0199를 가지며, 모집단에 대한 평균 95% 신뢰구간은 0.1479~0.1668인 것으로 나타났다. 토크계수의 통계값으로부터 산출된 토크계수의 산술평균값인 0.1574를 사용하여 초기도입축력 22.5ton에 해당하는 토크값을 산출하면 78kg·m이다.

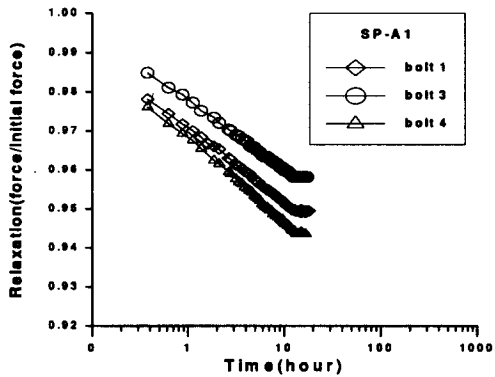
각 시험체별로 4개의 볼트를 체결할 때 측정된 자료로부터 측정된 토크계수는 내측볼트에 대한 토크계수가 외측볼트에 대한 토크계수보다 다소 큰 값으로 나타나고 있음을 알 수 있는데 이는 볼트체결순서에 기인하는 것으로 생각되므로 볼트체결시

일정한 토크관리를 실시하면 볼트군 중에서 외측볼트는 상대적으로 내측볼트에 비해서 다소 작은 축력이 도입될 가능성이 있을 것으로 생각된다.

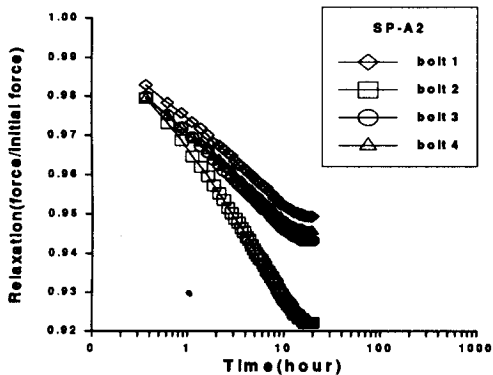
### 3.2 시간경과에 따른 도입축력의 감소

#### 3.2.1 도입축력의 초기감소

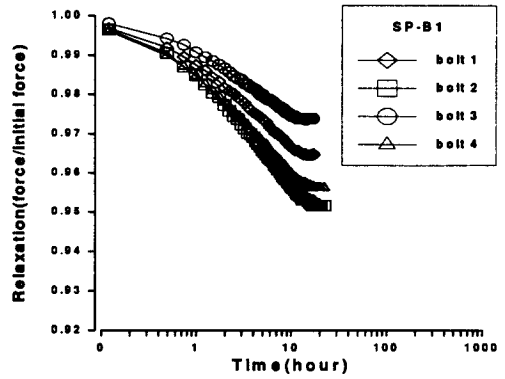
시간경과에 따른 고장력볼트의 축력감소현상을 조사하기 위해서 축력도입 직후부터 볼트축부에 부착된 변형률게이지로부터 일정한 시간마다 변형률을 측정하여 축력감소를 조사하였다. 시간경과에 따른 축력의 감소량을 수평축을 시간의 상용대수축으로 하고 축력감소량을 연직축으로 하여 나타내면 그림 3.3과 같다.



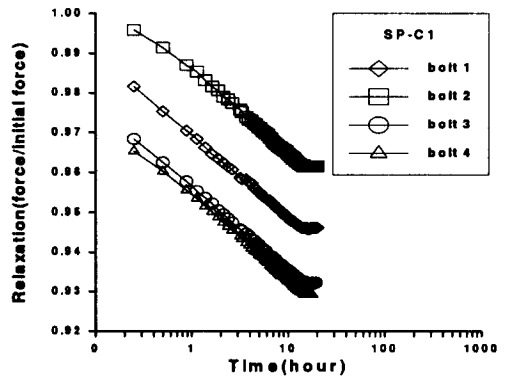
(a) SP-A1



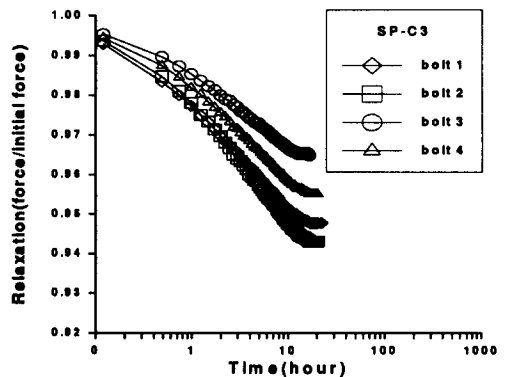
(b) SP-A2



(c) SP-B1



(d) SP-C1



(e) SP-C3

그림 32 시간경과에 따른 고장력볼트 축력감소현상

본 실험결과 초기도입축력은 시간경과에 따라 감소하는 경향을 나타내는데 약 5시간 이내에 급격히 감소하며, 약 20시간이 경과하면 일정한 값으로 수렴하여 그 변화가 거의 없는 경향을 나타낸다. 축력이 거의 일정한 단계가 되는 20시간 경과후 감소된 축력을 초기도입축력에 대한 비로 정리하면 표 3.2와 같다.

표 3.2 시간경과에 따른 초기도입축력에 대한 축력감소의 비율(%)

시험체	도입축력(tonf)	볼트 기호				평균값
		1	2	3	4	
SP-A1	22.5	94.9	95.7	94.3	-	95.0
SP-A2	22.5	94.9	92.1	94.2	94.5	93.9
SP-B1	22.5	96.4	95.0	97.4	95.6	96.1
SP-C1	22.5	94.5	96.3	93.0	93.3	94.3
SP-C3	22.5	94.7	94.2	96.5	95.4	95.2
평균값		95.1	94.7	95.1	94.7	94.9

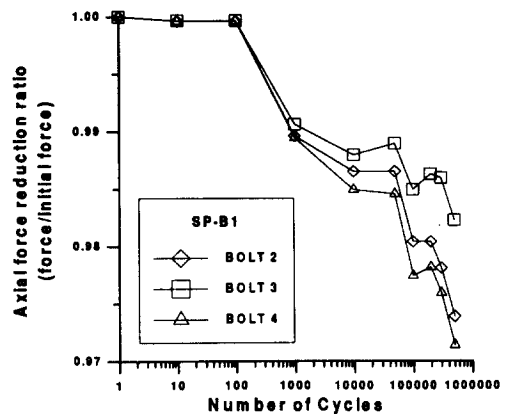
릴렉세이션 측정결과 고장력볼트의 초기축력감소는 도입축력 22.5ton에 대해 92.1%~97.4% 정도 감소하고 있음을 알 수 있는데 이값은 초기 도입축력의 2.6%~7.9%에 해당하는 축력의 감소량으로 초기도입축력을 설계축력의 110%로 규정하고 있는 시방서 기준을 준수한다면 축력의 릴렉세이션에 대해서도 충분한 여유가 있음을 알 수 있었다<sup>(6, 7)</sup>.

또한 용접이음 유무 및 볼트의 위치에 관계없이 도입축력의 초기감소량은 큰 차이가 없었으며, 24시간 이내의 축력의 초기감소량은 시간의 상용대수에 선형적으로 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 기존의 연구결과 축력감소는 1일에서 21일 사이에는 시간에 대한 지수함수의 형태로 감소하고 전체감소량의 90%가 체결후 1일 이내에 발생한다고 보고하고 있는데 본 연구에서도 이와 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다<sup>(4, 8)</sup>.

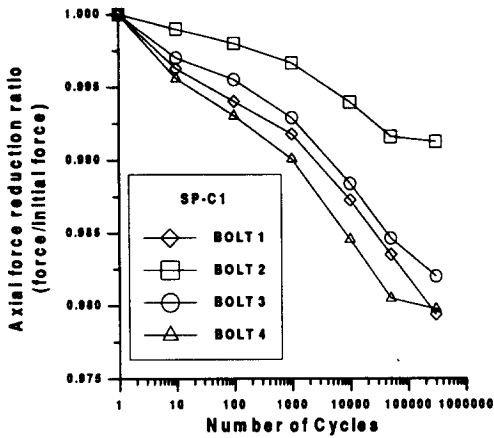
### 3.2.2 반복횟수에 따른 도입축력의 감소

고장력볼트 마찰이음부가 반복하중을 받게 되면 일반적으로 고장력볼트의 축력이 변화하고 너트의 풀림현상 등이 발생하여 축력감소현상을 초래할 수 있는 것에 주목하여 하중반복에 따른 축력감소현상을 규명하기 위해서 피로실험을 실시하면서 주기적으로 고장력볼트의 축력변화를 측정하였으며, 피로실험은 축력의 초기감소가 완료되었

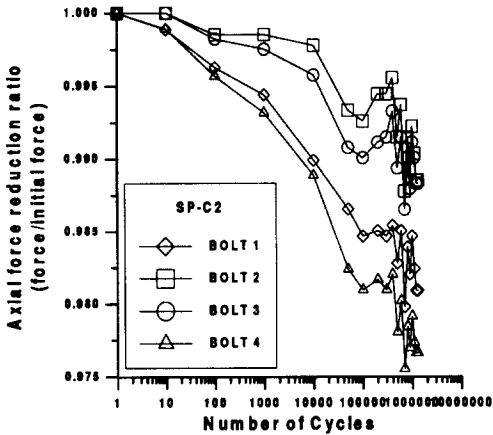
을 것으로 판단되는 볼트체결후 2일이 경과된 후에 실시하였다. 하중반복회수에 따른 축력감소량은 그림 3.4 및 표 3.3과 같다.



(a) SP-B1



(b) SP-C1



(c) SP-C2

그림 3.4 하중반복횟수에 따른 축력감소량

반복하중이 작용함에 따라 축력은 초기축력감소가 발생한 후 약 1.0%~3.0% 정도의 감소를 나타내고 있는데 이 결과는 고장력볼트 체결시 설계축력의 10%를 할증하여 체결하는 경우에는 축력의 초기감소량 및 공용중 축력감소량을 모두 고려하더라도 축력에는 여유가 있음을 알 수 있으며, 용접부의 위치에 따른 영향도 없음을 알 수 있었다.

표 3.3 초기감소가 완료된 후 반복하중에 의한 도입축력의 감소량(%)<sup>주1)</sup>

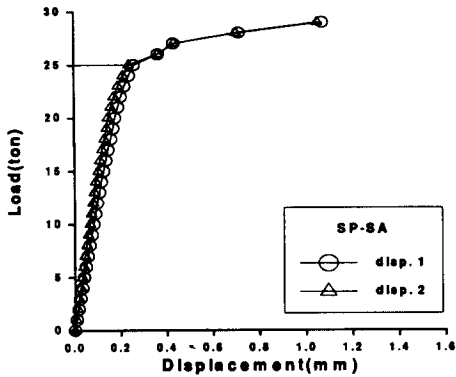
시험체	도입축력 (tonf)	볼트 기호				평균값	초기감소량 평균값
		1	2	3	4		
SP-B1	22.5	-	97.3	98.2	97.0	97.5	96.1
SP-C1	22.5	98.0	99.1	98.2	98.0	98.3	94.3
SP-C2	22.5	98.0	98.8	98.7	97.6	98.3	95.2
평균값		98.0	98.4	98.4	97.5	98.1	94.9
초기감소량의 평균값		95.1	94.7	95.1	94.7	94.9	-

(주1) 도입축력의 초기감소가 완료되는 48시간 경과후의 축력을 100으로 하였을 때 시험체별 피로파괴가 발생할 때까지 최대축력감소량을 나타낸 것.

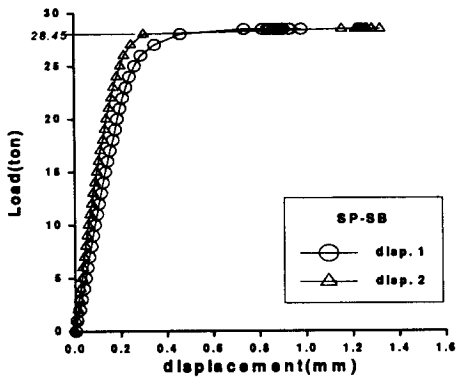
### 3.3 미끄러짐계수

본 실험에서는 용접부를 갖는 고장력볼트 마찰이음부의 미끄러짐하중을 구하기 위해서 정적인장 실험을 실시하였다. 도입축력은 토크관리법을 적용하였고 미끄러짐이 발생하기 전에 볼트축부에서 전단력이 발생되지 않도록 볼트를 구멍의 중앙에 위치하여 체결하였다. 정적인장실험에서는 하중재하에 따라 모재와 이음판의 상대변위를 측정하기 위해서 변위계를 부착하고 하중을 증가시키면서 상대변위를 측정하였다. 또한 도입축력이 미끄러짐계수에 미치는 영향을 조사하기 위해서 각 시험체별 도입축력을 113%, 100%, 80%, 60%로 변화시키면서 시험체별 상대변위를 측정하였다. 또한 주미끄러짐이 발생하는 하중은 볼트직경이 22mm, 볼트구멍직경이 24mm임을 감안하여 약 0.5mm 정도의 미끄러짐을 주미끄러짐으로 가정하여 미끄러짐하중을 결정하였다. 정적인장실험 결과는 그림 3.5 및 표 3.4와 같다.

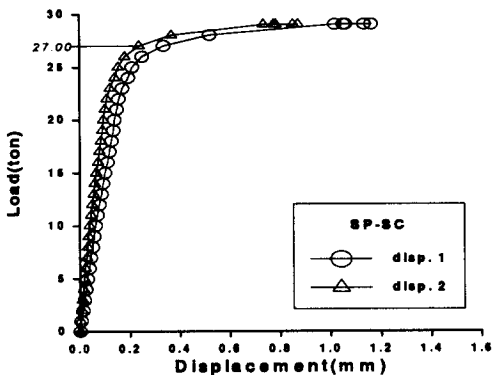




(a) SP-SA



(b) SP-SB



(c) SP-SC

그림 3.5 하중-변위선도

미끄러짐하중으로부터 계산된 미끄러짐계수는 도입축력이 감소함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한 미끄러짐하중이 항복하중보다 큰 경우에는 도입축력이 작을수록 미끄러짐계수는 증가하는 것을 알 수 있으며, 표준도입축력이 22.5ton인 경우에 미끄러짐하중이 가장 크게 나타났다.

한편 용접부가 마찰면 내부에 존재하는 SP-SB 시험체에서는 용접부가 있는 축의 미끄러짐계수가 용접부가 없는 축의 미끄러짐계수보다 다소 크게 나타나고 있는데 이러한 결과로부터 용접부가 마찰면 내부에 존재하는 경우에는 용접부의 요철 등으로 인하여 모재와 덮개판 사이의 접합이 충분히 이루어지지 않은 것으로 생각된다.

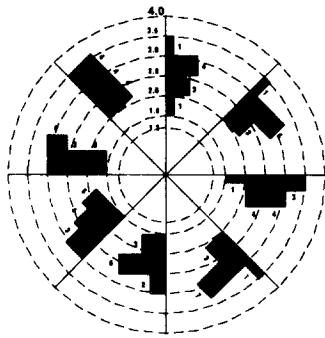
### 3.4 마찰면의 거동

고장력볼트 마찰접합부는 접합면을 밀착시켜야 하므로 접합면을 손상시키지 않도록 접합부재의 비틀림, 휨, 구부러짐 등을 교정하여야 하지만 재료오차, 철골제작 및 건설시의 오차 등에 따라 접합면에 틈이 발생하는 경우가 있는데 접합부에 발생한 틈은 접합부의 미끄러짐내력 및 강성에 악영향을 미치기 때문에 주의하여야 한다.

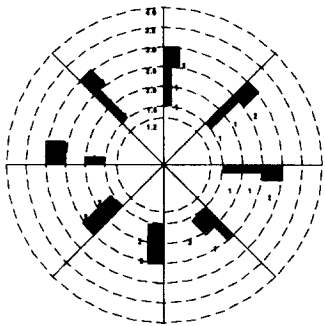
한편 접촉면의 마찰에 작용하는 면적이 클수록 반복하중에 의하여 마찰면의 조도가 손상되는 정도가 작으며, 넓은 면적에서 하중을 전달하기 때문에 피로강도상 우수한 효과를 가져올 수 있다.

따라서 마찰면적은 와서의 경도 및 크기, 볼트 축력 등에 좌우되는 것으로 본 실험에서는 외경 42.5mm, 내경 23.5mm인 와서를 사용하였다. 피로실험이 완료된 후 볼트구멍주변의 마찰면 분포를 관찰하고 볼트의 압축력에 의한 표면마찰면의 작용범위를 검토했으므로 마찰면적이 피로강도 등에 미치는 영향을 기존의 연구결과와 비교하였다. 마찰면적의 크기를 볼트구멍 중심에서의 거리로 나타내고 조사된 볼트구멍에 대해서 마찰면적 분포의 빈도로 나타내면 그림 3.6 및 그림 3.7과

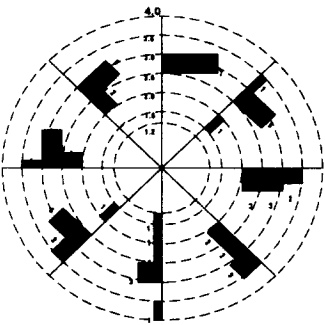
같다.



(a) SP-A



(b) SP-B

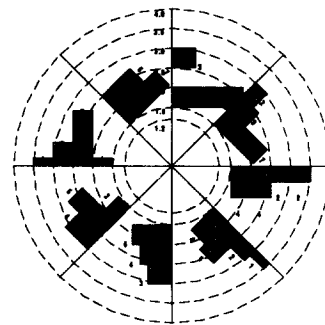


(c) SP-C

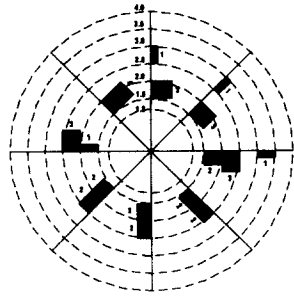
그림 3.6 집합부 마찰면적의 크기 분포도(내측볼트)

표 3.4 정적인장실험 결과

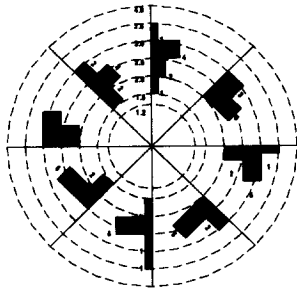
시험체		도입속력 (tonf)	미끄러짐하중 (tonf)	순단면적 (mm <sup>2</sup> )	미끄러짐 계수
SP-SA1	Dis.1	25.5	25.0	560	0.2451
	Dis.2	25.5	25.0	560	0.2451
SP-SA2	Dis.1	22.5	24.0	560	<b>0.2667</b>
	Dis.2	22.5	24.0	560	<b>0.2667</b>
SP-SA3	Dis.1	18.0	24.0	560	0.3333
	Dis.2	18.0	24.0	560	0.3333
SP-SA4	Dis.1	13.5	25.0	560	0.4630
	Dis.2	13.5	23.0	560	0.4259
SP-SB1	Dis.1	25.5	25.0	560	0.2451
	Dis.2	25.5	25.0	560	0.2451
SP-SB2	Dis.1	22.5	25.0	560	<b>0.2778</b>
	Dis.2	22.5	25.0	560	<b>0.2778</b>
SP-SB3	Dis.1	18.0	26.2	560	0.3639
	Dis.2	18.0	26.6	560	0.3694
SP-SB4	Dis.1	13.5	25.0	560	0.4630
	Dis.2	13.5	26.0	560	0.4815
SP-SC1	Dis.1	25.5	23.0	560	0.2255
	Dis.2	25.5	23.0	560	0.2353
SP-SC2	Dis.1	22.5	24.5	560	<b>0.2667</b>
	Dis.2	22.5	23.2	560	<b>0.2578</b>
SP-SC3	Dis.1	18.0	28.0	560	0.3889
	Dis.2	18.0	25.0	560	0.3472
SP-SC4	Dis.1	13.5	28.0	560	0.5185
	Dis.2	13.5	25.0	560	0.4630



(a) SP-A



(b)P-B



(c) SP-C

그림 3.7 접합부 마찰면적의 크기 분포도(외측볼트)

그림에서와 같이 접합부의 마찰면적은 용접부가 내부에 있는 SP-B의 경우가 SP-A 및 SP-C의 경우보다 마찰력의 분포영역이 매우 좁게 분포하고 빈도수도 매우 작음을 알 수 있는데 이는 마찰접합의 기능을 충분히 하지 않음을 나타내는 것으로 미끄러짐계수를 측정된 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 마찰면적의 분포가 작아짐에 따라 미끄러짐계수는 증가하는 경향을 나타내고 있다.

따라서 마찰면 내부에 용접부가 불가피하게 존재하는 경우에는 용접비드 가공시 덮개판과의 사이에 틈이 발생하지 않도록 주의하여야 하며, 용접열영향에 의한 면의변형을 최대한 억제하여 충분한 마찰이음 기능을 할 수 있도록 하여야 할 것으로 생각된다.

### 3.5 피로강도

고장력볼트 마찰이음부의 피로특성을 규명하기 위해서 실시한 피로실험결과는 표 3.5와 같으며, 본 피로실험 결과를 기초로 하여 시험체의 피로강도를 도로교시방서의 피로설계기준과 비교하면 그림 3.8과 같다.

표 3.5 피로실험 결과

시험체 번호	도입축력 (tonf)	Pmax (tonf)	Pmin (tonf)	총단면적 (mm <sup>2</sup> )	최대공칭 응력범위(MPa)	파괴횟수 (NF)	비고
SP-A1	22.5	20	2.0	800	225.0	820,000	전단절단
SP-A2	22.5	18	1.8	800	202.5	>2,000,000	전단절단
SP-A3	22.5	22	2.2	800	247.5	1,880,000	가스절단
SP-B1	22.5	20	2.0	800	225.0	570,000	전단절단
SP-B2	22.5	18	1.8	800	202.5	1,450,000	전단절단
SP-B3	22.5	22	2.2	800	225.0	385,000	가스절단
SP-C1	22.5	22	2.2	800	247.5	400,000	전단절단
SP-C2	22.5	20	2.0	800	225.0	1,280,000	전단절단
SP-C3	22.5	20	2.0	800	225.0	>5,000,000	가스절단

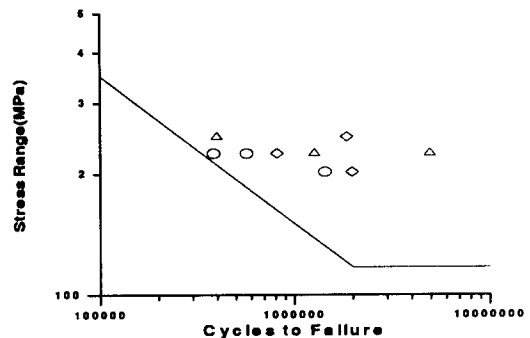


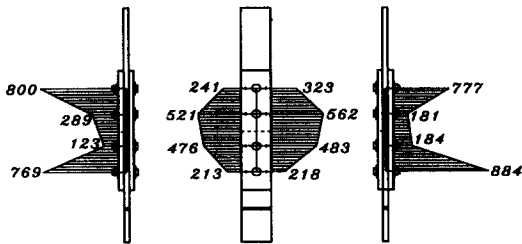
그림 3.8 하중-반복횟수 선도

피로실험 결과 맞대기 용접부의 영향은 맞대기 용접이음이 없는 경우에 비해서 피로강도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 피로강도의 감소정도를 비교하면 맞대기 용접부가 마찰면 외부에 있는 경우가 마찰면 내부에 있는 경우보다 피로강도가 저하함을 알 수 있었다. 그러나 이 경우에도

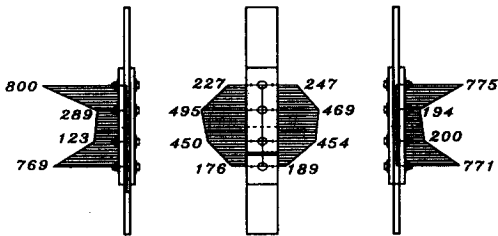
현행 도로교시방서에서 규정하고 있는 피로등급인 B등급을 모두 상회하고 있는 것으로 나타나고 있었다. 또한 맞대기 용접부가 마찰면 외부에 존재하는 경우에는 맞대기 용접이음부에서 피로균열이 발생되어 피로파괴가 발생하였으며, 맞대기 용접부가 마찰면 내부에 존재하는 경우와 맞대기 용접이음부가 존재하지 않는 경우에는 볼트연결부가 아닌 모재에서 피로균열이 발생되어 피로파괴가 발생되었다.

### 3.6 마찰이음부의 응력분포

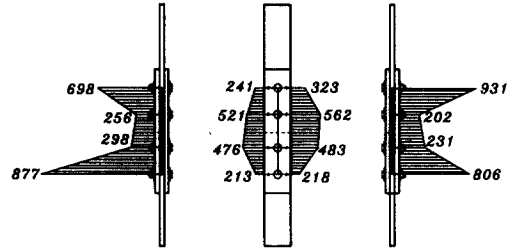
고장력볼트 마찰이음부의 응력전달체계를 고찰하기 위해서 시험체에 변형률게이지를 부착하고 일정한 하중상태에서 변형률을 측정하였으며, 본 실험에서는 반복횟수 100회에 대해서 20톤의 하중을 시험체에 작용시켰을 때 각 측정에서의 변형률을 측정 한 결과는 그림 3.9와 같다.



(a) SP-A



(b) SP-B



(c) SP-C

그림 3.9 마찰이음부의 응력분포도

위의 그림에서와 같이 덮개판에서는 마찰면 외측에서 응력이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 모재단면에서는 마찰면 중앙부에서 응력이 감소되는 부등분포응력을 나타내고 있으며, 모재에서는 공칭응력이 전단면적에 걸쳐서 균일하게 분포하는 경향을 나타내고 있었다.

외측볼트에서는 모재단면중앙이 전체응력의 65%~75%를 부담하고 나머지 응력 25%~35%는 양쪽의 덮개판으로 전달되고 내측볼트에서는 모재의 단면중앙이 공칭응력의 약 10%~15%를 부담하고 나머지 응력 85%~90%는 양쪽의 덮개판으로 전달되는 메카니즘을 형성하고 있음을 알 수 있었으며, 볼트내측에 존재하는 용접이음부에서는 대략적으로 공칭응력의 25%~30%의 응력이 작용하고 있는 것으로 판단된다.

또한 용접부의 위치에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 응력분포는 각 시험체별로 큰 차이를 나타내고 있지 않음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

(1) 고장력볼트의 축력관리를 위한 토크관리법의 적용가능성을 검토한 결과 모집단의 95%신뢰구간에서 설계축력의 82.6~127.6%에 해당하는 축력을 얻을 수 있기 때문에 미끄러짐에 대한 안전률 1.7을 고려할 때 적용가능한 것으로 판단된다.

(2) 시간경과에 따른 축력의 초기 감소는 약

20시간이면 일정값으로 수렴되는 것으로 평가되며, 초기도입된 축력의 약 2.5~8%의 축력감소가 발생됨을 알 수 있었다. 축력의 1일이내의 초기 감소량은 시간의 상용로그값에 선형적으로 비례하는 관계를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 용접에 의한 영향은 없음을 알 수 있었다.

(3) 볼트의 체결직후 볼트축력의 감소율은 약 8%, 반복하중 작용에 따른 축력감소율은 초기감소가 완료된 축력에 대하여 약 3%로 측정되었으며, 파단시까지 축력의 전체 감소량은 체결시의 축력에 대하여 총 10%의 감소량을 나타내고 있어 볼트 체결시 설계축력의 10%를 할증하여 체결하도록 정해진 시방서 규준은 적합함을 확인하였다.

(4) 맞대기 용접이음부가 피로강도에 미치는 영향은 마찰면 내부 및 외부에 용접부가 존재할 때 피로강도는 감소하는 것을 알 수 있었으며, 감소정도는 맞대기 용접부가 마찰면 외부에 존재할 때보다 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 용접부의 유무에 의한 피로강도는 시방서에서 요구되어지는 B등급 이상을 만족함을 알 수 있었다.

(5) 접합부의 마찰면적분포 및 미끄러짐계수는 용접부가 내부에 있는 경우 용접열영향에 따른 모재의 휨변형에 의해서 덮개판과 충분한 마찰접합의 기능을 하지 않으므로 용접열영향에 의한 면외변형을 최대한 억제하여야 하고 면외변형에 따른 마찰면 분포영역의 크기 및 미끄러짐계수와 상관계에 대한 정량적인 평가는 추후 지속적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.

- (1) 日本建築學會, “高力ボルト接合設計施工指針”, 1993, pp. 1~68
- (2) 寺尾幸子, “支壓状態に關する高力ボルト継手の力學的特性に關する研究”, 平成 2年 3月.
- (3) 田島二郎, “打入式高力ボルト継手の疲れ強さ”, JSSC, Vol. 6, No. 57, pp 76~78.
- (4) 石摩立弘, 谷平免力, “高力ボルト軸力の經年變化に關する考察”, 土木學會第49回年次學術講演集, I-102, pp 204~205. 平成 6年 9月.
- (5) Lewitt, C. W., Cheson, E. Jr Muse, “Riveted and Bolted Joints, Fatigue of Bolted Structural Connections”, Journal of the Structural Division, Proc. of ASCE, 1963. 2.
- (6) G. L. Kulak, John W., Fisher and John H. A. Struik, “Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints”, John Wiley & Sons, 1987, pp 116~225
- (7) 최 준혁, “고장력볼트 마찰이음부의 정적 및 피로거동에 관한 실험 및 해석적 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1996. 12.
- (8) 송 현영, “횡방향 맞대기 용접부를 가진 고장력 볼트 마찰이음부의 피로거동에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1997. 12.

(접수일자 : 1998. 1. 8)